

水利工程质量检测中的无损检测技术应用

王跃华

江苏衡辉工程检测有限公司 江苏 盐城 224600

摘要: 水利工程质量检测对保障工程安全意义重大,无损检测技术因非破坏性、精准性等特性,与之高度适配。本文介绍超声、电磁感应、射线、红外热成像、回弹等常用无损检测技术,及其在水利工程不同结构检测中的应用方向,阐述检测流程与要点,涵盖前期准备、现场实施、数据处理、报告编制等环节,为水利工程全生命周期质量管控提供技术支持。

关键词: 水利工程;质量检测;无损检测技术;应用方向;检测流程

引言:水利工程关乎国计民生,其质量直接影响防洪、灌溉等功能的发挥。传统检测方法有局限性,易对工程结构造成损伤且检测不全面。无损检测技术凭借非破坏性、连续性等优势进入水利领域,可精准获取工程结构质量信息,适配水利工程不同结构检测需求,在保障工程全生命周期质量方面发挥着关键作用。

1 水利工程质量检测与无损检测技术基础认知

1.1 水利工程质量检测核心需求

水利工程不同结构的质量检测重点存在差异。堤坝需重点检测结构强度与防渗性能,防止运行中出现溃坝或渗漏问题;闸室关注启闭设备联动性与混凝土结构完整性,保障闸门正常运行;输水管道需检测管道壁厚均匀性与接口密封性,避免输水过程中出现泄漏;混凝土结构则聚焦表面及内部裂缝、密实度等指标,确保承载能力与耐久性^[1]。这些检测需求均对技术提出明确要求,非破坏性可避免检测过程对工程结构造成额外损伤,精准性需保证检测结果能准确反映结构实际质量状况,高效性则需适配水利工程规模大、检测范围广的特点,为后续无损检测技术应用提供清晰需求导向。

1.2 无损检测技术的核心特性

无损检测技术的本质是在不破坏工程结构原有形态与性能的前提下,实现对质量的精准检测。其核心特性体现在多方面,非破坏性是基础,能最大程度保护工程结构完整性;连续性可实现对工程结构的持续监测,捕捉质量变化趋势;实时性支持检测数据即时获取与分析,缩短检测周期;广覆盖性则能适配不同尺寸、不同类型的工程结构检测需求。这些特性与水利工程特殊场景高度适配,针对水下结构,无损检测技术可通过水下专用设备实现无需排水的检测;面对大型混凝土构件,能突破传统检测范围限制实现全面检测;对于长期运行中的工程,可在不影响正常运营的情况下完成定期质量评估,奠

定技术应用的理论基础。

1.3 无损检测技术与水利工程质量检测的适配逻辑

无损检测技术可针对水利工程结构特点与检测需求,通过不同技术原理获取关键质量参数。利用声波传播原理的超声波检测,能穿透混凝土构件捕捉内部缺陷信息;基于电磁感应原理的检测技术,可快速识别钢筋位置与锈蚀状态;借助射线穿透特性的检测方法,能清晰呈现金属结构内部焊缝质量。除在技术原理层面适配质量参数获取需求外,无损检测技术在应用阶段也与工程检测各环节形成精准匹配,施工过程中可通过无损检测实时监控施工质量,及时纠正偏差;竣工验收阶段利用技术全面评估工程整体质量,确保符合交付标准;运行期维护检测则通过定期技术应用,提前发现结构老化或损伤迹象,建立起技术与检测需求的紧密关联框架,保障水利工程全生命周期质量可控。

2 水利工程质量检测中常用无损检测技术及应用方向

2.1 超声检测技术及应用

超声检测技术以超声波传播特性为基础,超声波在均匀介质中沿直线传播,当遇到不同介质界面或结构内部缺陷时,会产生反射、折射与衰减现象,通过专用设备接收这些信号并转化为可分析的波形数据,就能精准判断结构内部状况^[2]。在水利工程中,该技术对混凝土结构检测适配性极强,可深入识别大坝、隧洞衬砌等混凝土构件内部的空洞大小、裂缝走向及密实度分布,避免因这些隐蔽缺陷长期发展影响结构承载能力,保障工程长期稳定运行;针对闸门、压力钢管等金属构件,能细致检测焊缝是否存在未焊透、夹渣、气孔等问题,确保金属部件连接强度符合安全标准;对于堤坝水下边坡、输水管道水下段等难以直接接触的区域,搭配防水性能优良的水下专用探头,可实现无需排水的缺陷定位,有效解决传统检测需停水或排水才能作业的难题,大幅降

低检测对工程正常运行的影响。

2.2 电磁感应检测技术及应用

电磁感应检测技术的工作机制基于电磁感应定律，通过检测设备向被测结构施加特定频率的交变电磁场，当结构内部材质均匀性发生变化或存在缺陷时，电磁场的强度、相位等参数会随之改变，设备捕捉这些变化并进行数据解析，就能识别结构内部状况。在水利工程中，该技术是混凝土结构钢筋检测的核心手段，可精准确定钢筋在混凝土中的具体位置、排列分布及保护层厚度，验证钢筋配置是否与设计图纸一致，防止因钢筋保护层不足导致钢筋锈蚀影响结构耐久性；检测输水、排水金属管道时，能通过电磁信号的衰减程度判断管道内壁腐蚀厚度与腐蚀范围，提前预警管道因腐蚀变薄可能出现的泄漏风险；对于堤坝防渗墙、地下连续墙等隐蔽工程，可检测墙体是否存在孔洞、接缝不密实等隐患，评估墙体防渗性能是否达标。该技术无需破坏结构表面，检测过程不会对工程造成额外损伤，对隐蔽工程质量检测的优势尤为显著，特别适用于混凝土内部钢筋、地下管道等无法直接观察的部位检测。

2.3 射线检测技术及应用

射线检测技术利用射线的穿透性与衰减特性实现检测，常用的射线类型包括X射线、 γ 射线等，射线穿过被测结构时，结构内部不同密度的区域或存在的缺陷会对射线产生不同程度的吸收与衰减，密度越低或缺陷越大的区域，射线衰减越弱，通过成像设备将射线穿透后的强度差异转化为图像，就能清晰呈现结构内部状态。在水利工程中，该技术在厚壁金属构件检测中表现突出，如大型水利闸门的厚钢板连接部位、高压输水管道的厚壁段，能精准识别内部细微裂纹、夹杂、未熔合等深层缺陷，这些缺陷往往隐藏在构件内部深处，常规检测技术难以发现；检测大体积混凝土结构如重力坝坝体、大型渡槽时，可评估混凝土深层密实度，判断是否存在因浇筑工艺问题导致的内部疏松区域，避免这些区域成为结构薄弱点。该技术在高精度、深层缺陷检测中的作用不可替代，但射线具有辐射性，应用时需采取严格防护措施，操作人员需穿戴专业防护装备，检测区域需划定安全范围并设置警示标识，禁止无关人员进入，通常需在工程临时停工或特定时间段开展检测，确保人员与环境安全。

2.4 红外热成像检测技术及应用

红外热成像检测技术通过捕捉物体表面辐射的红外能量实现检测，所有物体都会向外辐射红外能量，且温度不同的物体辐射的红外能量强度存在差异，该技术利

用红外热像仪将物体表面的温度分布转化为直观的热成像图，当结构存在缺陷时，缺陷区域与周围正常区域的热传导性能不同，会形成明显的温度异常区域，据此可准确识别缺陷位置与范围。在水利工程中，该技术是堤坝渗漏检测的高效手段，堤坝内部存在渗漏通道时，水分在渗漏过程中会带走热量或因蒸发导致局部温度降低，在热成像图上呈现低温异常区域，能快速定位渗漏点，避免渗漏范围扩大引发堤坝管涌、溃坝等风险；检测混凝土大坝、闸室等混凝土结构时，可发现表面及浅层裂缝，裂缝内部填充的空气或水分与混凝土的热传导率不同，会在裂缝处形成温度差，通过热成像图可清晰识别裂缝走向与长度；对于渠道防渗层、蓄水池防渗膜等结构，能检测防渗层是否存在破损，破损区域因水分渗透会形成温度异常，帮助判断防渗层完整性。该技术可实现大面积快速扫描，检测效率远高于传统逐点检测方式，适配堤坝坝面、渠道衬砌、大面积蓄水池等大范围检测场景，能在短时间内完成对大型工程区域的检测，大幅提升检测效率。

2.5 回弹检测技术及应用

回弹检测技术基于材料硬度与强度的内在关联实现检测，混凝土、砌体等材料强度越高，表面硬度通常越大。该技术利用回弹仪向结构表面施加规定能量冲击，弹击锤因反作用力产生回弹，通过测量回弹值，结合预设的回弹值与强度换算公式，推算材料强度参数。在水利工程中，该技术广泛应用于混凝土结构强度检测，大坝坝体、溢洪道、隧洞衬砌等构件均可通过快速评估强度是否达设计要求，判断浇筑质量是否合格；检测砌石坝、砌体挡土墙等砌体结构时，能通过回弹值推算抗压性能，验证是否满足承载要求。该技术操作简便，设备体积小、重量轻，无需复杂安装调试，检测人员经简单培训即可操作。检测速度快，单个检测点仅需几十秒，在现场快速检测、工程初步质量评估中实用价值极高，特别适用于施工过程质量抽检与竣工验收阶段快速质量筛查。但该技术应用有明确适用条件，需确保检测结构表面平整、清洁，无浮浆、油污、破损，表面不平整会导致回弹仪接触不稳定影响准确性。检测结果易受混凝土表面碳化深度、湿度、龄期等因素影响，实际应用中需对这些因素检测并结合规范修正，以确保结果可靠。

3 无损检测技术在水利工程质量检测中的应用流程与要点

3.1 检测前期准备与方案设计

检测前期需全面开展工程结构勘察工作，通过查阅工程设计图纸、现场实地踏勘，明确检测部位的具体位

置、结构尺寸、材质类型等特性，同时排查检测区域周边环境隐患，为后续检测操作创造安全条件。技术选型需结合检测需求与结构特点，例如针对混凝土内部裂缝检测优先选用超声检测技术，针对混凝土强度评估则适配回弹检测技术，确保所选技术能精准匹配检测目标^[3]。设备校准工作需在检测前完成，按照设备操作规范对检测仪器的参数精度、信号稳定性进行调试与校验，避免因设备误差影响检测结果。检测方案设计需涵盖完整内容，明确检测范围的具体边界与覆盖区域，确定各技术的操作参数与执行标准，制定详细的操作规范指导检测人员作业，同时规划针对现场可能出现的突发情况的安全措施，为检测实施提供全面依据。

3.2 现场检测实施与数据采集

现场检测实施需注重操作要点把控，首先对检测部位进行清晰标记，确保标记位置与勘察确定的检测区域完全一致，避免检测位置偏差。设备操作需严格遵循规范流程，检测人员按技术要求调整设备摆放角度、检测距离等参数，保证设备处于最佳工作状态。环境因素控制需同步开展，根据检测技术特性采取措施，如超声检测时避开强电磁干扰区域，红外检测时控制检测环境温度波动，减少温度、湿度、水流等因素对检测信号的干扰。数据采集过程中需落实质量控制措施，实时记录检测数据的采集时间、对应检测部位及设备参数，确保数据记录完整无遗漏；定期对采集数据进行实时校验，对比同期数据差异，及时发现异常数据并初步筛选，排除无效数据干扰，保障采集数据的可靠性。

3.3 检测数据处理与结果分析

不同无损检测技术需采用适配的数据处理方法，超声检测技术通过专业软件对采集的声波信号进行解析，提取波速、振幅等特征参数；雷达检测技术对电磁数据进行反演处理，还原结构内部介质分布图像；红外检测技术则对红外图像进行灰度分析与温度场提取，转化为可分析的数值数据。结果分析需遵循核心逻辑，结合对应技术原理与工程结构特性，将处理后的数据与标准阈值

对比，判断数据反映的质量状况，如通过声波信号异常判断混凝土内部裂缝类型，依据电磁数据反演结果确定结构内部空洞位置，根据温度场差异评估渗漏严重程度，形成包含缺陷类型、位置、严重程度的初步检测结论，为工程质量评估提供精准支撑。

3.4 检测报告编制与成果应用

检测报告编制需包含核心内容，开篇简述工程概况，介绍工程名称、检测目的、检测区域结构特征；详细说明采用的检测技术与具体方法，列出检测过程中使用的设备型号与操作参数；呈现完整的检测数据，以图表结合文字的形式清晰展示数据分布与关键指标；深入分析检测结果，解读数据反映的质量问题；最后提出针对性的质量评估建议，明确后续处理方向。检测成果需应用于水利工程质量管控各环节，施工阶段根据成果调整施工工艺参数，优化混凝土浇筑、岩土压实等作业流程；验收阶段依据成果判定工程质量是否符合标准，决定是否通过验收；运维阶段参考成果制定设备维护计划与结构检修方案，及时处理质量隐患，形成检测技术应用的闭环。

结束语

无损检测技术在水利工程质量检测中优势显著，能精准发现工程结构潜在问题，为质量管控提供可靠依据。从检测前期准备到报告编制，各环节紧密相连，共同保障检测结果的准确性与实用性。随着技术发展，无损检测技术将不断完善，为水利工程建设与运维提供更有力的支持，推动水利工程高质量发展。

参考文献

- [1]王红霞.水利工程质量无损检测关键技术的研究[J].水上安全,2024(17):18-20.
- [2]韩文斌,陈希歌.水利工程质量检测的无损检测技术[J].建筑与装饰,2023(2):14-16.
- [3]王雪莉.试析水利工程质量检测中无损检测技术的实践[J].建筑与装饰,2023(23):1-3.